

# 民机试飞规划与管理数据库设计研究

## Database Design of Flight Test Planning and Management for Civil Aircraft

冯士德 张媛 / Feng Shide Zhang Yuan

(上海航空工业(集团)有限公司,上海 201210)

(Shanghai Aviation Industrial (Group) Co., Ltd., Shanghai 201210, China)

### 摘要:

针对国内在民机试飞规划与管理工作中所涉及各类数据及其之间的关联进行了深入地分析。所涉及的数据资源涵盖了从飞行试验的需求确认至试验规划编制这一完整过程。根据分析结果,以 ER 图的形式描述了民机试飞规划与管理数据库设计的概念数据模型。并结合关系型数据库模型,简述了数据库设计工作中由概念数据模型向逻辑数据模型转换的方式。

**关键词:**民机;飞行试验;试飞规划;数据库设计;关系型数据库;ER 图

**中图分类号:**V217

**文献标识码:**A

[Abstract] This article analyzes the data involved in flight test planning and management for civil aircraft and the relationship between them. The involved data cover from the requirements of flight test to flight test planning. Depending on the analysis, ER diagram is used to describe the conceptual data model for the flight test planning and management of civil aircraft. This article also describes the method for transferring conceptual data model to logical data model with relational data model.

[Key words] civil aircraft; flight test; flight test planning; database design; relational data model; ER diagram

## 0 引言

民机飞行试验是一项庞大而复杂的系统性工程,在飞行试验规划的编制及计划执行过程中涉及大量与飞行试验相关的数据资源。在数据库技术介入民机飞行试验工作之前,这些数据往往以纸质文件或 Excel、Word 文档等形式进行存储,数据分散且格式多样,难以形成统一的数据管理机制,更无法实现对各类数据的版本控制。在所涉及的数据之间也缺乏有效的关联机制,从而导致了数据的收集、处理以及统计工作异常复杂,在数据的处理过程中也极易发生错误。

在我国 2013 年至 2020 年的民用航空中长期发展规划已明确指出以信息化技术为抓手建立现代航空工业体系的指导思想<sup>[1]</sup>。而数据库技术是所有信息化系统的基础,通过对民机飞行试验规划与管理工作中所涉及各类数据进行分析和建模,可建立一套有效的数据结构化管理机制,为之后民机飞行试验规划与管理相关管理信息系统的建立奠

定基础。针对当前国内民机飞行试验规划与管理工作中所涉及各类数据需求进行分析,并基于关系型数据库模型的理念对民机试飞规划与管理的数据库设计进行研究。

## 1 试验需求及任务

民机飞行试验是在真实的飞行条件下进行产品试验和科学研究的过程。它以获取在真实飞行过程中所产生的各类数据与评价为目标,是一项集科学性、实践性与风险性于一体,且投资巨大的、复杂的系统性工程<sup>[2]</sup>。本节将针对民机试飞规划及管理过程中所涉及各类数据资源及其相互关系进行分析。

### 1.1 民机飞行试验的需求

根据飞行试验需求来源不同,民机飞行试验的需求划分为基于审定的需求以及基于研发的需求两部分。

(1) 基于审定的需求

当前有效适航条款的相关要求是审定需求的

主要组成部分。每一份适航条例均以章节方式编排,并详细定义了民机获取适航证前所必须满足的各项要求。此外,适航证申请人与局方就某一型号飞机所共同达成的相关专用条件以及会议纪要也是审定需求的重要组成部分。

### (2) 基于研发的需求

基于研发的需求来自于民机设计制造厂商内部,由研发部门通过正式文件的形式提出。它虽不是适航取证的必要过程,但对于新型飞机的设计制造具有极其重要的作用。

## 1.2 民机飞行试验的任务

基于适航条款的需求、基于研发要求的需求构成了整个民机飞行试验的主要工作内容。试飞工程师通过需求分解的方式对各类需求进行梳理,形成具体的飞行试验任务。图1展示了民机飞行试验需求的三层分解结构。

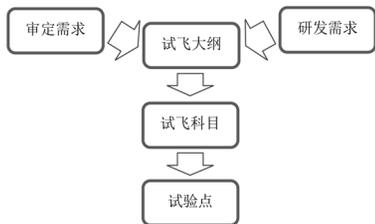


图1 飞行试验需求分解

民机的试飞大纲定义了整个飞行试验的所有试验需求以及其验证方式和验证标准。通过对试飞大纲的梳理与分析,每一本试飞大纲都会被分解为若干飞行试验科目。而试验点位于三层结构的末端,是整个飞行试验工作中具体试飞任务的集合。每架次的飞行试验将对此集合中的一个或多个试验点进行验证。当所有的试验点都被验证成功后,便标志着取证民机型号的飞行试验工作圆满完成。需要注意的是试验点集合中的部分试验点根据具体的情况将会被要求执行多次。

## 1.3 试飞科目

试飞科目是对飞行试验大纲的第一次分解,根据试飞科目所属试飞大纲的需求来源,试飞科目也被划分为审定试飞科目与研发试飞科目两大类。

### 1.3.1 试飞科目的优先级

在众多试飞科目中,部分试飞科目是以建立试验标准为目的。因此这些科目必须在整个飞行试验工作中优先执行。此外,考虑到飞行试验工作的安全性、实验性和操作性,不同的试飞科目之间也必然存在着执行顺序上的约束关系。通过对试飞

科目进行分组,可对试飞科目之间的约束关系进行有效的管理。根据约束方式的不同,试飞科目组可划分为顺序科目组、特殊科目组以及组合科目组三种类型。其中顺序科目组之间存在着明确的执行先后约束。特殊科目组与顺序科目组类似,也可以加入顺序科目组的执行顺序约束图中。它与顺序科目组的区别在于,特殊科目组中的试飞科目往往存在固定的执行时期。而组合科目组中试飞科目的执行不依赖于任何试飞科目。此类科目可在飞行试验的任何阶段执行,无需考虑它与其他试飞科目之间的约束关系。

### 1.3.2 试验科目构型要求

每个试飞科目根据其自身的试验内容,对试验飞机的构型状态均存在一定的要求。试飞科目对于试验机构型的要求主要由三大部分组成:测试参数、机上改装以及系统功能。

#### (1) 测试参数

受限于现实中的安装条件,每一架试验机上同时可安装的传感器数量有限。因此在整个飞行试验过程中试验机上所安装的传感器数量和类型是根据当前飞行试验的要求而动态变化的。

#### (2) 机上改装

在执行某些特殊的飞行试验任务时,试验飞机必须进行相应的改装才能满足试验的需求。与测试参数相比,一个型号的民用飞机上可供选装的机上改装数量相对较少,一般不会超过100项。

#### (3) 系统功能

一架现代化的民用客机由众多软硬件系统共同构成,例如飞行控制系统、失速保护系统等。而每个系统均由多个子系统为其提供支持。比较复杂的情况是,在民机的研发过程中各个子系统均会不断地升级版本,并且每一次版本的变化都会对其所实现的功能产生一定影响。考虑到子系统版本的变化,需为每一项系统功能明确一个包含子系统版本号子系统需求表,如表1所示。

表1 系统功能与子系统关系示例

	子系统1	子系统2	子系统3
系统功能A	v1.0	v2.0	v1.0
	v1.0	v2.3	v1.2

测试参数、机上改装、系统功能三者共同形成了试飞科目对于试验机构型的要求。其中试飞科目对于系统功能的要求,可根据系统功能与子系统

版本之间的关联转换为试飞科目对于子系统的要求,如图2所示。

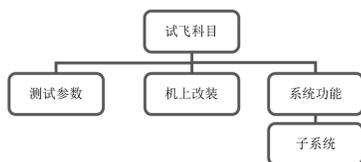


图2 试飞科目需求与试验飞机关系

## 1.4 试验点

试验点是对试飞科目的进一步细化与量化,它是民机飞行试验规划过程中的最小单位。试飞科目与试验点之间为典型的一对多关系,且一个试验点仅能属于一个试飞科目。

### 1.4.1 试验点类型

根据试验点所属试飞科目类型的不同,试验点可被划分为审定试验点与研发试验点两大类。再根据试验点的执行方式以及参与试验的人员构成,试验点又可被进一步划分,如图3所示。

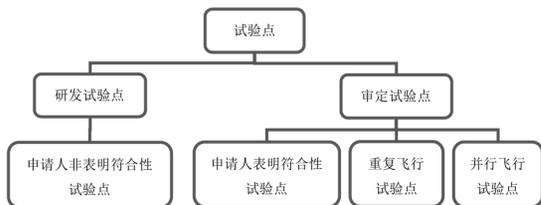


图3 试验点类型

### 1.4.2 试验点属性

试验点作为飞行试验任务分解过程中最小的任务单位,在经由试飞大纲、试飞科目层层分解与细化之后,通常以一系列可以量化的属性对其进行描述。试验点的属性大致可被划分为四大部分:

#### (1) 基本信息

在基本信息中一般包含试验点的编号,以及其所属的试飞大纲、试飞科目等基本信息。

#### (2) 主数据

飞行试验执行时对试验飞机所处的高度、速度、重量、重心等主要的试验要求在主数据中定义。

#### (3) 详细数据

在详细数据中则包含一些对机上非主要系统的要求,例如防滑、照明、制冷、循环风机等系统。

#### (4) 环境

在试验环境中则明确规定了执行该试验点所必须具备的试验环境,例如:风速、能见度、温度、湿度、跑道、场高、气流以及特殊要求等。

### 1.4.3 试验点风险

试验点的风险等级由试验点可能存在的风险

项来确定。每一个试验点可能涉及一个、多个或不涉及风险项,每个风险项由风险内容、风险降低措施、紧急措施、发生概率、危害程度以及风险等级等属性共同描述。

### 1.4.4 试验点程序

每个试验点都包含一个试验程序,试飞员在空中将按照此试验程序的指导执行飞行试验。每个试验程序由多个试验步骤组成,在每个试验步骤中明确定义了飞行员的一个具体操作。在整个飞行试验工作中将所有试验点的试验程序集合在一起便可以建立一个试验程序库,在此库中可将试验程序名作为各个试验程序的标识。对于一个试验程序来说,它可以被多个试验点所引用。

## 2 民机飞行试验的规划

随着各类新技术在民机研发、设计、制造过程中的应用,随着适航条款的不断完善,民机飞行试验工作的内容也愈加丰富与复杂。但迫于市场的压力以及交付的压力,民机设计制造厂商又非常期望缩短民机的飞行试验周期。因此根据明确的试验需求对整个飞行试验过程进行统筹与规划,是执行飞行试验之前的必要工作。

### 2.1 总体规划

试飞总体规划是试飞详细计划编制的基础。在编制试飞总体规划的过程中,将对所有试飞任务进行划分并形成试飞任务包。将不同的试飞任务包指派给不同的试验飞机后,便基本形成了每架试验机的试飞任务。在为每个任务包估算了开始及结束后,便形成了每架试验机的总体试飞规划,如图4所示。

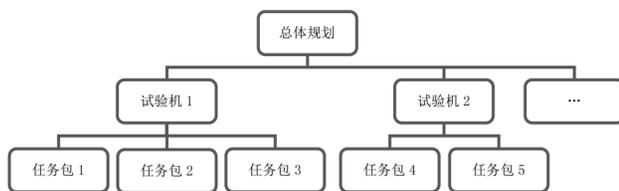


图4 试飞总体规划

### 2.2 详细计划

试飞任务的详细计划是对试飞总体规划的进一步分解,是一种自上而下的规划方式,试飞任务单是其规划的最小单元,如图5所示。

#### (1) 子任务包

试飞子任务包是对试飞任务包中试飞任务的第一次分解。每个子任务包都包含一个或多个所

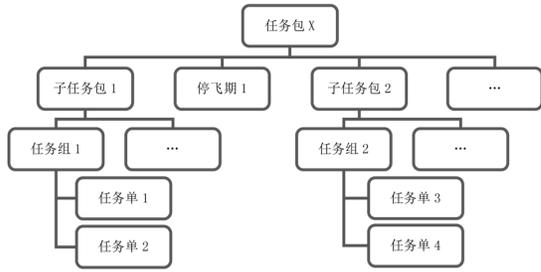


图5 任务包分解

属试飞任务包中的试飞科目,并且会被指定一个科目作为主试飞科目。

(2) 停飞期

每个试飞子任务包中的试飞科目对试验机的状态需求各不相同。在每个停飞期内都将根据当前试验机的构型状态与下一个子任务包对于试验机构型的要求之间所存在的差异,安排试验机的改装工作。

(3) 试飞任务单、任务组

任务组由若干个试飞任务单组成,一个试飞任务单代表着一个架次的飞行试验。为了缩短整个飞行试验周期,通常会在一次飞行试验中安排多个试验点,这个试验点列表为试飞任务单的主要组成部分。但这些试验点必须具有相同的试验类型,而试飞任务单中试验点的组成也决定了该试飞任务单的类型。除试验点之外,在试飞任务单中还将确定参与此次飞行试验的飞行小组成员、试验机场、试验机配重方案、试验限制等飞行试验的相关数据。并根据每个试验点的风险等级,评估试飞任务单的风险等级,并编制风险降低措施及风险发生时的紧急对应措施。

### 3 数据库设计

关系型数据库技术是目前主流的数据库技术。它建立在关系模型基础上,以二维表的形式对数据进行存储与管理,并在表与表之间以外键的形式实现关联。基于关系模型可以对数据进行结构化的管理,因此关系型数据库可以提供强大的数据查询能力。对于民机试飞规划与管理的数据结构化需求而言,采用关系型数据模型对于数据的结构化而言具有明显的优势,是作为数据管理平台的理想选择。数据库概念结构设计阶段的主要任务便是把系统用户所关心的事物统一到一个整体的概念模型中。根据民机飞行试验规划与管理的数据需求分析,飞行试验需求及飞行试验任务相关

的概念数据模型如图6所示,飞行试验规划相关的概念数据模型如图7所示。

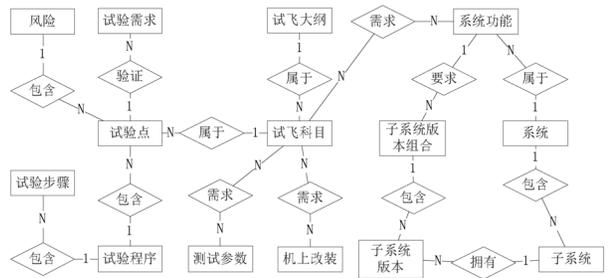


图6 概念数据模型局部图(试飞需求、试飞任务部分)

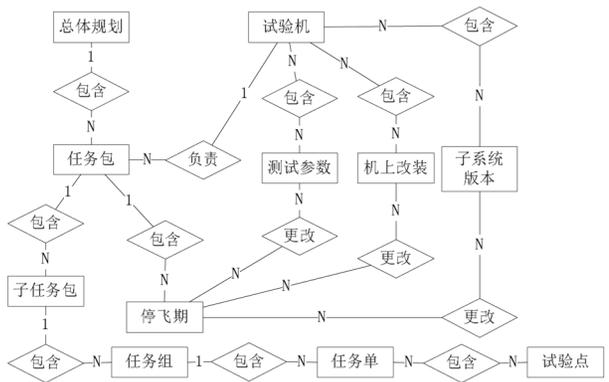


图7 概念数据模型局部图(试飞规划部分)

## 4 结论

本文从数据库设计角度,着重对民机飞行试验规划及管理过程中所涉及各类数据资源及其关联关系进行了分析。所涉及的数据资源涵盖了从试验需求确认至试验规划编制这一完整的过程。并通过ER图对所涉及的各类数据资源之间的关联进行了描述。相较于国外的民机试飞任务管理技术而言,本文中对民机试飞规划与管理数据的分析更贴近国内民机飞行试验现状,更适用于国内民机试飞相关信息化系统的建设工作。

本文对民机试飞规划与管理数据库设计的研究只是信息化技术介入民机试飞规划工作的第一步,随着信息化技术在此领域的逐步深入,相信在信息化技术的协助下必将实现我国国产客机早日翱翔蓝天的愿望。

### 参考文献:

[1] 中华人民共和国工业和信息化部. 民用航空工业中长期发展规划(2013年-2020年)[Z]. 2013,5.  
[2] 周自全. 飞行试验工程[M]. 北京:航空工业出版社, 2012:7.